

С. В. МЯМЛИН, Е. П. БЛОХИН, Е. Ф. ФЕДОРОВ, Н. Я. ГАРКАВИ (ДИИТ),
О. Н. ЛИТВИНЕНКО (ИСЦ ГП Придн.ж.д.), И. В. КЛИМЕНКО, В. В. КАРПЕНКО
(ДИИТ)

САПР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ. АЛГОРИТМ ПОДСИСТЕМЫ «ПОДБОР АВТОСЦЕПНОГО ОБОРУДОВАНИЯ»

Описано алгоритми побудови підсистеми підбору автосцепного обладнання в межах САПР залізничних вагонів.

Описаны алгоритмы построения подсистемы подбора автосцепного оборудования в рамках САПР железнодорожных вагонов.

In the framework of the system of computer-aided design of railway wagons the algorithms of building the subsystem of selection of autocoupling equipment are described.

Постановка проблемы в общем виде

Данная статья посвящена алгоритмизации требований Норм [1], предъявляемых к проходимости железнодорожных вагонов в стесненных условиях эксплуатации. Приведенные ниже алгоритмы используются в системе автоматизированного проектирования (САПР) железнодорожных вагонов [2, 3]. Необходимо отметить, что в функции САПР не входит принятие конструкторских решений вместо человека. САПР должна выполнять рутинную работу, помогая пользователю выбрать из ряда готовых конструкторских решений одно или несколько рациональных [4-6]. Поэтому количество вводимых в интерактивном (диалоговом) режиме исходных данных и количество выходных данных САПР нельзя определить раз и навсегда; необходимые для проектирования конкретного экипажа исходные данные и интересующие конструктора выходные данные системы могут быть определены только в процессе диалога с пользователем (конструктором).

Выделение не решенной ранее части общей проблемы

В данной статье показано, что основная проблема при построении систем автоматизированного проектирования не в программировании приведенных в Нормах [1] формул, а в построении диалога (интерфейса) с конструктором. В процессе этого диалога система вырабатывает стратегию использования нормативной информации (формул, числовых и нечисловых данных и т.п.).

Постановка задачи

В описываемой ниже подсистеме проверяются [1] нерасцепляемость сцепа из проектируемого и эталонного вагонов при прохождении тестовых кривых, горба горки и аппарелей паромов (если вагон предназначен для пропуска через горки и аппарели паромов), автоматическая сцепляемость проектируемого вагона с эталонным вагоном в тестовых кривых, а также определяется наибольший возможный угол поворота тележки относительно кузова. В пределах подсистемы можно (если не возражает конструктор) подобрать группу грузового вагона по условиям нерасцепляемости (грузовые вагоны по условиям нерасцепляемости могут быть I-й или II-й группы [1]), тип автосцепки и тип ударной розетки [1, 7]. Подсистема пригодна для проектирования пассажирских, изотермических, почтовых, багажных и грузовых вагонов (платформ, полувагонов, цистерн, хопперов, думпкаров, транспортеров, а также крытых, специальных и бункерных вагонов) [8-11].

В статье приняты следующие обозначения: идентификатор типа автосцепки - T_A , идентификатор типа ударной розетки - T_p , идентификатор группы вагона по условиям нерасцепляемости - U , идентификаторы условий прохода горок и аппарелей паромов - соответственно D_G и D_A , идентификаторы особых условий - D_U , D_C , D_J и D_Z .

При проектировании грузовых вагонов обычно гарантируется проход без саморасцепа горок и аппарелей паромов (что соответствует выражению $D_G = D_A = 1$). Если заказчик не возражает, для горки и аппарелей паромов при-

нимается перелом $\Pi_{\Gamma} = \Pi_A = 55\%$ между плоскостями надвижной и спускной частей, сопряженными вертикальной кривой с радиусом $R_{\Gamma} = R_A = 250$ м. Заказчик в технических требованиях на создание вагона может оговорить другие условия пропуска вагона через горки и аппарели. Например, можно запретить пропуск вагона через горки ($D_{\Gamma} = 0$) и через аппарельные съезды ($D_A = 0$) или потребовать ($D_{\Gamma} = 2$) гарантии отсутствия саморасцепа на горках с более сложным профилем (с другими значениями Π_{Γ} и R_{Γ}). Можно оговорить ($D_A = 3$) отсутствие саморасцепа на аппарельных съездах с длиной моста, большей длины вагона по осям сцепления.

Грузовые вагоны по условиям нерасцепляемости могут быть [1] либо вагонами группы I ($U = 1$), либо вагонами группы II ($U = 2$). Для пассажирских и для каждой группы грузовых вагонов нормированы следующие проверяемые стесненные условия: круговая кривая радиуса R_1 для прохода одиночного вагона, сопряжение прямой и круговой кривой радиуса R_2 без переходного радиуса для прохода сцепы из проектируемого и эталонного вагонов, S-образная кривая радиуса R_3 без прямой вставки для прохода сцепы из проектируемого и эталонного и сцепы из двух проектируемых вагонов, сопряжение прямой и круговой кривой радиуса R_4 для проверки автоматической сцепляемости. Заказчик имеет право настаивать на определенной группе по условиям нерасцепляемости проектируемого грузового вагона ($D_U = 1$), а также (при $D_U = 2$) для любого (грузового, пассажирского) вагона - на отличающихся от требований Норм [1] радиусах $R_1 \dots R_3$ тестовых кривых. Условие $D_U = 0$ соответствует возможности подбирать группу при проектировании грузового вагона. Пассажирским вагонам поставим в соответствие условие $((D_U = 1) \wedge (U = 3))$, если конструктор не настаивает на радиусах тестовых кривых, отличающихся от требований Норм [1]. При условии $((D_{\Gamma} = 1) \wedge (U = 1))$ для грузовых вагонов группы I с центрирующим устройством автосцепки определяется X поперечное отклонение головки автосцепки (центра зацепления) на участке сопряжения прямой и круговой кривой радиусом $R_5 = 90$ м. При расчете центрирующего устройства это отклонение должно быть обеспечено усилием сцепщика 250 Н. Условие

$D_{\Gamma} = 0$ соответствует отсутствию центрирующего устройства автосцепки. При условии $D_{\text{ж}} = 1$ допускается не обеспечивать автоматическую сцепляемость вагонов на сопряжении прямой и круговой кривой радиусом R_4 (при этом автосцепки должны быть оборудованы устройством для их принудительного отклонения к центру кривой). Условие $D_{\text{ж}} = 0$ соответствует требованию заказчика об обязательном выполнении условий автоматической сцепляемости вагонов на сопряжении прямой и круговой кривой радиусом R_4 . Согласно Норм [1] радиусы тестовых кривых соответствуют таблице 1.

Таблица 1

Радиусы тестовых кривых

| Радиус, м | Грузовой вагон | | Пассажирский вагон |
|-----------|----------------|-----------|--------------------|
| | группа I | группа II | |
| R1 | 60 | 80 | 80 |
| R2 | 80 | 110 | 120 |
| R3 | 120 | 160 | 170 |
| R4 | 135 | 250 | 250 |
| R5 | 90 | — | — |

Изложение основного материала

При подборе автосцепного оборудования предполагается, что длина консоли от центра пятника до оси сцепления n , база вагона 2ℓ , и тележка уже подобраны. Тележку характеризуют n_T - осьность тележки, Ш - признак типа подшипника (Ш = "с" - подшипник скольжения, Ш = "к" - подшипник качения: использование подшипника скольжения Нормами [1] не рекомендуется), Л - признак типа подвешивания (Л = 1 - тележка с жесткой рамой и люлечным подвешиванием, Л = 0 - тележка с нежесткой рамой без люлечного подвешивания), база тележки $2\ell_{\text{тел}}$. Кроме того, 3-осную тележку характеризует расстояние между осями тележки $2\ell_{T,0} = \ell_{\text{тел}}$, а 4-осную, 8-осную и 16-осную тележки характеризуют $2\ell_{T,0}$ - база двухосной тележки, $2\ell_{T,M,i}$ - база i -й межтележечной связи (уместно напомнить, что у 4-осной тележки всего одна межтележечная связь, а у 16-осной тележки три межтележечные связи - связь с базой $2\ell_{T,M,1}$ связывает двухосные тележки, связь с базой $2\ell_{T,M,2}$ связывает четырехосные тележки, связь с базой $2\ell_{T,M,3}$ связывает

вает восьмиосные тележки). Приведенная полубаза тележки l_T определяется выражением

$$l_T = \begin{cases} l_{\text{тел}} \Leftarrow n_T = 2, \\ \sqrt{2} \cdot l_{T,0} \Leftarrow n_T = 3, \\ \sqrt{l_{T,0}^2 + \sum_{i=1}^{\log_2(n_T)-1} l_{T,M,i}^2} \Leftarrow n_T \in \{4;8;16\}, \end{cases} \quad (1)$$

(в выражении (1) для 3-осных тележек допускается «в запас» принимать $l_T = 2l_{T,0}$).

Отметим, что у двухосных тележек моделей 18-100 и 18-109 (ЦНИИ-ХЗ) $2l_{\text{тел}} = 1,85$ м [8]; у двухосной тележки типа КВЗ-ЦНИИ $2l_{\text{тел}} \geq 2,40$ м [1]; у трехосной тележки модели 18-102 $2l_{\text{тел}} = 3,50$ м, $2l_{T,0} = l_{\text{тел}} = 1,75$ м [8]; у 4-осной тележки модели 18-101 $2l_{T,0} = 1,85$ м, $2l_{T,M,1} = 3,20$ м [8].

Автосцепки могут быть трех типов [7]: СА-3, СА-3М и нестандартная автосцепка с зубом, как у СА-3М, и шириной захвата, как у СА-3 (в дальнейшем будем называть такую автосцепку СА-3У). Длина корпуса типовой автосцепки (СА-3, СА-3М) от центра шарнира хвостовика до оси зацепления $a = 0,87$ м. Проектировщик имеет право при подборе отказаться от какого-либо типа автосцепки. Таким образом, множество возможных типов автосцепок $T_A^{(0)} = \{ \text{"СА-3"}, \text{"СА-3М"}, \text{"СА-3У"} \}$, множество согласованных с проектировщиком типов автосцепок $T_A^{(C)} \subseteq T_A^{(0)}$, а подбираемый тип автосцепки $T_A \in T_A^{(C)}$. Розетки могут быть трех типов [7]: грузового ("Г"), пассажирского ("П") и типа 8-осного полувагона ("8"). При этом розетка типа 8-осного полувагона без автосцепки СА-3М не используется (и автосцепка СА-3М без розетки типа 8-осного полувагона не используется). Проектировщик имеет право при подборе отказаться от какого-либо типа розетки. Таким образом, множество возможных типов розеток $T_P^{(0)} = \{ \text{"Г"}, \text{"П"}, \text{"8"} \}$, множество согласованных с проектировщиком типов розеток $T_P^{(C)} \subseteq T_P^{(0)}$, а подбираемый тип розетки $T_P \in T_P^{(C)}$. Возможные комбинации автосцепного оборудования и приоритеты выбора этих комбинаций соответствуют зависимости

$$P(T_A, T_P) = \begin{cases} 20 \Leftarrow (T_A = \text{"СА-3"}) \wedge (T_P = \text{"Г"}), \\ 25 \Leftarrow (T_A = \text{"СА-3У"}) \wedge (T_P = \text{"Г"}), \\ 40 \Leftarrow (T_A = \text{"СА-3"}) \wedge (T_P = \text{"П"}), \\ 50 \Leftarrow (T_A = \text{"СА-3У"}) \wedge (T_P = \text{"П"}), \\ 100 \Leftarrow (T_A = \text{"СА-3М"}) \wedge (T_P = \text{"8"}). \end{cases}$$

Каждому типу розетки при соответствующем типе автосцепки соответствует конкретный размер выноса автосцепки V_A [7]:

$$V_A = \begin{cases} 0,610 \text{ м} \Leftarrow \lambda_1, \\ 0,565 \text{ м} \Leftarrow (T_A = \text{"СА-3М"}) \wedge (T_P = \text{"8"}), \end{cases}$$

где $\lambda_1 = ((T_A = \text{"СА-3"}) \vee (T_A = \text{"СА-3У"})) \wedge ((T_P = \text{"Г"}) \vee (T_P = \text{"П"}))$

Иногда конструкторы используют часть выноса автосцепки для увеличения длины кузова (например, конструкция крытого грузового вагона позволяет увеличить длину пола в консольной части вагона за счет «нависания пола над автосцепкой» [8] на $\Delta_B \leq 0,180$ м [7]).

Решение задачи

В общем случае задача подбора автосцепного оборудования соответствует выражению

$$\left\{ \begin{aligned} &U \Leftarrow (D_U \neq 2); T_A; T_P; \Psi; \\ &D_Z \Leftarrow (D_{\text{ж}} = 1); \\ &X \Leftarrow (D_{\text{ц}} = 1) \wedge (U = 1); \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

$$: [P(T_A, T_P) \rightarrow \min \Leftarrow \lambda_2],$$

$$\text{где } \lambda_2 = (D \wedge (T_A \in T_A^{(C)}) \wedge (T_P \in T_P^{(C)}) \wedge (\forall U \in \gamma \Leftarrow (D_U = 0)))$$

$$\gamma = \left\{ \min_D(1,2); 2 \Leftarrow \lambda_3 \right\}$$

$$\lambda_3 = \left(\min_D(1,2) = 1 \right) \wedge$$

$$\wedge \left(\min_{U=2} (P(T_A, T_P)) < \min_{U=1} (P(T_A, T_P)) \right),$$

а

$$\begin{aligned} D &= (\mathfrak{Z}_{\Gamma}(T_A) \vee ((D_{\Gamma} = 0) \wedge (D_A = 0))) \wedge \\ &\wedge (\mathfrak{Z}_{\text{Cu}}(U, T_A) \vee (D_{\text{ж}} = 1)) \wedge \\ &\wedge \mathfrak{Z}_{\text{Kp}}(U, T_A, T_P) \wedge \mathfrak{Z}_{\text{S1}}(U, T_A, T_P) \wedge \\ &\wedge \mathfrak{Z}_{\text{S2}}(U, T_A, T_P) \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь $\mathfrak{Z}_{\Gamma}(T_A)$ - условие нерасцепляемости сцепа на горбе горки или аппаратном въезде на паромы, $\mathfrak{Z}_{\text{Cu}}(U, T_A)$ - условие автоматической сцепляемости проектируемого вагона в кривых, $\mathfrak{Z}_{\text{Kp}}(U, T_A, T_P)$ - условие нерасцепляемости сцепа из проектируемого и эталонного вагона на сопряжении прямой и круговой кривой, $\mathfrak{Z}_{\text{S1}}(U, T_A, T_P)$ - условие нерасцепляемости сцепа из проектируемого и эталонного ва-

гона в S-образной кривой, $\mathfrak{S}_{S2}(U, T_A, T_P)$ - условие нерасцепляемости сцепа из двух проектируемых вагонов в S-образной кривой. При $D_U=1$ или при $D_U=2$ группа не подбирается. При $D=false$ спроектировать вагон не возможно. Кроме подбора автосцепного оборудования, задача включает в себя определение интересующих конструктора величин отклонения головки автосцепки X и угла поворота тележки относительно кузова Ψ в тестовых кривых. Величина X определится из выражения

$$X = X_X(R_5) \Leftarrow (D_{Ц} = 1) \wedge (U = 1), \quad (4)$$

где

$$X_X(R_X) = \frac{n \cdot (2\ell + n) - \ell_T^2}{2R_X} + \lambda - B_0, \quad (5)$$

$$\lambda = \begin{cases} 0,026 \text{ м} \Leftarrow ((n_T = 2) \vee (n_T = 4)) \wedge (L = 0), \\ 0,013 \text{ м} \Leftarrow (n_T = 3) \wedge (L = 0), \\ 0,010 \text{ м} \Leftarrow (n_T = 2) \wedge (L = 1), \end{cases}$$

а Ψ в радианах определится из выражения

$$\Psi = \frac{\ell}{R_1} + \frac{e}{\ell_T} \left(1 + \frac{\ell_T}{2\ell} \right), \quad (6)$$

где

$$e = \begin{cases} 0,030 \text{ м} \Leftarrow \text{Ш} = \text{"к"}, \\ 0,040 \text{ м} \Leftarrow \text{Ш} = \text{"с"}. \end{cases}$$

В выражении (5) вне зависимости от того, обточены колеса по профилю ГОСТ 9036-88 [12] или по профилю МИНЭТЭК (ДМетИ) [13], принимается [1]

$$B_0 = B' \cdot (1,655 \cdot \sin(65^\circ - \beta_0) - 0,5), \quad (7)$$

$$\beta_0 = \frac{\ell + n}{R_X} \cdot 57,3^\circ, \quad (8)$$

$$B' = \begin{cases} 0,175 \text{ м} \Leftarrow (T_A = \text{"CA - 3"}) \vee \\ \vee (T_A = \text{"CA - 3Y"}), \\ 0,200 \text{ м} \Leftarrow T_A = \text{"CA - 3M"}. \end{cases}$$

В выражении (3) используется логическая переменная

$$\mathfrak{S}_{Cu}(U, T_A) = (0 \geq X_X(R_4)). \quad (9)$$

Относительно особых условий необходимо сказать следующее. Если не обеспечивается автоматическая сцепляемость и $D_{Ж}=1$, то автосцепки должны быть оборудованы устройством для их принудительного отклонения к центру кривой, то есть $D_Z=1$. В то же время, $D_Z=0$, если сцепляемость обеспечена, и при $D_{Ж}=0$ вне зависимости от обеспечения сцепляемости:

$$D_Z = \begin{cases} 0 \Leftarrow \mathfrak{S}_{Cu} \vee (D_{Ж} = 0); \\ 1 \Leftarrow \neg \mathfrak{S}_{Cu} \wedge (D_{Ж} = 1). \end{cases} \quad (10)$$

Условия $\mathfrak{S}_{Кр}$, \mathfrak{S}_{S1} , \mathfrak{S}_{S2} в выражении (3) соответствуют зависимостям

$$\mathfrak{S}_{Кр}(U, T_A, T_P) = \mathfrak{S}(\Omega_i = \text{"Э"}, R_i = \infty, \Omega_j = \text{"P"}, R_j = R_2), \quad (11)$$

$$\mathfrak{S}_{S1}(U, T_A, T_P) = \mathfrak{S}(\Omega_i = \text{"Э"}, R_i = R_3, \Omega_j = \text{"P"}, R_j = R_3), \quad (12)$$

$$\mathfrak{S}_{S2}(U, T_A, T_P) = \mathfrak{S}(\Omega_i = \text{"P"}, R_i = R_3, \Omega_j = \text{"P"}, R_j = R_3), \quad (13)$$

где

$$\mathfrak{S}(\Omega_i, R_i, \Omega_j, R_j) = \left(\alpha < \begin{cases} \alpha_1 \Leftarrow \alpha'_1 \leq \alpha' \leq \alpha'_2, \\ \alpha_\alpha \Leftarrow \alpha'_k < \alpha' \leq \alpha'_{k+1} \end{cases} \right), \quad (14)$$

$$\text{где } \alpha_\alpha = \bigvee_{k=2}^3 \left(\alpha_k + \frac{\alpha_k - \alpha_{k+1}}{\alpha'_k - \alpha'_{k+1}} (\alpha' - \alpha'_k) \right).$$

Здесь условия $\Omega_i = \text{"P"}$ и $\Omega_j = \text{"P"}$ соответствуют характеристикам проектируемого вагона, а условие $\Omega_i = \text{"Э"}$ соответствует характеристикам эталонного вагона, для которого Нормы [1] декларируют $n_T=2$, $2\ell=8,65$ м, $n=2,635$ м, $2\ell_{\text{тел}}=1,850$ м. В выражении (14)

$$\alpha = \beta + \gamma, \quad \alpha' = \beta' + \gamma,$$

$$\beta = \frac{180^\circ}{\pi} \arctg \frac{\ell + n_a + a}{R_i},$$

$$\beta' = \frac{180^\circ}{\pi} \arctg \frac{\ell' + n'_a + a}{R_j},$$

$$\gamma = \frac{180^\circ}{\pi} \arctg \frac{b + b' + \xi}{2a},$$

$$b = \frac{n_a \cdot (2\ell + n_a) - \ell_T^2 - a^2}{2R_i},$$

$$b' = \frac{n'_a \cdot (2\ell' + n'_a) - (\ell'_T)^2 - a^2}{2R_j}.$$

Длина консоли от центра пятника до шарнира хвостовика автосцепки определяется выражением $n_a = n - a$ ($n'_a = n' - a$). Характеристики Ω_i , R_i , α , β , b , ℓ , n , n_a , ℓ_T относятся к вагону i , характеристики Ω_j , R_j , α' , β' , b' , ℓ' , n' , n'_a , ℓ'_T относятся к вагону j . При определении $\mathfrak{S}_{Кр}$ значения величины ξ соответствуют зависимости

$$\xi = \begin{cases} 0,032 \text{ м} \Leftarrow ((n_T = 2) \vee (n_T = 4)) \wedge (L = 0), \\ 0,019 \text{ м} \Leftarrow (n_T = 3) \wedge (L = 0), \\ -0,025 \text{ м} \Leftarrow (n_T = 2) \wedge (L = 1), \end{cases}$$

при определении \mathfrak{Z}_{S1} значения величины ξ соответствуют зависимости

$$\xi = \begin{cases} 0,002 \text{ м} \Leftarrow ((n_T = 2) \vee (n_T = 4)) \wedge (L = 0), \\ -0,011 \text{ м} \Leftarrow (n_T = 3) \wedge (L = 0), \\ -0,057 \text{ м} \Leftarrow (n_T = 2) \wedge (L = 1), \end{cases}$$

при определении \mathfrak{Z}_{S2} значения величины ξ соответствуют зависимости

$$\xi = \begin{cases} 0,043 \text{ м} \Leftarrow ((n_T = 2) \vee (n_T = 4)) \wedge (L = 0), \\ 0,049 \text{ м} \Leftarrow (n_T = 3) \wedge (L = 0), \\ -0,030 \text{ м} \Leftarrow (n_T = 2) \wedge (L = 1). \end{cases} \quad 3$$

начения координат ограничительных контуров

$\bigvee_{k=1}^5 (\alpha_k, \alpha'_k)$ соответствуют табл. 2.

Таблица 2

Координаты ограничительных контуров

| Розетка | | k=1 | k=2 | k=3 | k=4 | k=5 |
|---|-------------------|------|------|------|------|------|
| эталона – $\Omega_i = \text{“Г”}$ | α , град. | 12,2 | 12,2 | 10,4 | 4,0 | 0 |
| проектируемая – $\Omega_j = \text{“Г”}$ | α' , град. | 0 | 4,0 | 10,4 | 12,2 | 12,2 |
| эталона – $\Omega_i = \text{“Г”}$ | α , град. | 12,2 | 12,2 | 10,4 | 4,0 | 0 |
| проектируемая – $\Omega_j = \text{“П”}$ | α' , град. | 0 | 8,8 | 14,2 | 16,0 | 16,0 |
| эталона – $\Omega_i = \text{“Г”}$ | α , град. | 11,6 | 11,6 | 11,2 | 4,0 | 0 |
| проектируемая – $\Omega_j = \text{“8”}$ | α' , град. | 0 | 16,0 | 17,7 | 19,5 | 19,5 |
| эталона – $\Omega_i = \text{“П”}$ | α , град. | 16,0 | 16,0 | 14,3 | 8,5 | 0 |
| проектируемая – $\Omega_j = \text{“П”}$ | α' , град. | 0 | 8,5 | 14,3 | 16,0 | 16,0 |
| эталона – $\Omega_i = \text{“8”}$ | α , град. | 19,0 | 19,0 | 18,5 | 17,0 | 0 |
| проектируемая – $\Omega_j = \text{“8”}$ | α' , град. | 0 | 17,0 | 18,5 | 19,0 | 19,0 |

Условие $\mathfrak{Z}_\Gamma(T_A)$ в выражении (3) соответствует [1] зависимости

$$\mathfrak{Z}_\Gamma(T_A) = \begin{cases} (\Delta y_{\max} \leq \Delta) \Leftarrow \lambda_4, \\ (\Delta y_{\max} \leq \Delta \leq \Delta y_{\max,0}) \Leftarrow \lambda_5, \end{cases} \quad (15)$$

где $\Delta = \Delta h_{\text{доп}} - h_n$, $\lambda_4 = ((D_\Gamma = 1) \vee (D_A = 1))$, $\lambda_5 = (D_A = 3)$.

где максимальная величина относительного вертикального смещения автосцепок при проходе сцепом перелома профиля горки или аппаратного съезда Δy_{\max} в миллиметрах определяется из выражения

$$\Delta y_{\max} = A + n \cdot (B + C \cdot n + D \cdot 2\ell) + \frac{n}{2\ell} \cdot (E + F \cdot n + G \cdot n^2) \quad , \quad (16)$$

а значения n и 2ℓ берутся в метрах. Допускаемая по условиям сцепления разность уровней автосцепок (при сцеплении с аналогичной автосцепкой) $\Delta h_{\text{доп}}$ определяется выражением

$$\Delta h_{\text{доп}} = \begin{cases} 180 \Leftarrow (T_A = \text{“CA-3”}), \\ 250 \Leftarrow \lambda_6, \end{cases}$$

при $\lambda_6 = (T_A = \text{“CA-3M”}) \vee (T_A = \text{“CA-3Y”})$, а допускаемая по ПТЭ начальная разность уровней осей автосцепок $\Delta h_n = 100$ мм. Значения коэффициентов A, B, C, D, E, F, G определяются согласно табл. 3 и 4.

Таблица 3

Значения коэффициентов B, C, D, E, F, G

| | B | C | D | E | F | G |
|---|------|------|-----|-------|------|------|
| $2\ell + n < 11,8 \text{ м}$ | 0 | 2,0 | 2,0 | 0 | 0 | 0 |
| $11,8 \leq 2\ell + n \leq 14,6 \text{ м}$ | 13,5 | 0,8 | 1,4 | -80,4 | 13,5 | -0,6 |
| $2\ell + n > 14,6 \text{ м}$ | 58,2 | -2,0 | 0 | -429 | 58,2 | -2,0 |

Значения коэффициента А

| | $2n_T = 4$ | | $2n_T = 6$ | $2n_T = 8$ |
|--|------------------------------------|------------------------------------|------------|------------|
| | $2l_{\text{тел}} = 1,85 \text{ м}$ | $2l_{\text{тел}} = 2,40 \text{ м}$ | | |
| $2l + n < 11,8 \text{ м}$ | -1,7 | -1,7 | -4,0 | — |
| $11,8 \leq 2l + n \leq 14,6 \text{ м}$ | -1,8 | -3,2 | -4,4 | -7,5 |
| $2l + n > 14,6 \text{ м}$ | -3,1 | -4,6 | -6,0 | -9,8 |

В выражении (15) $\Delta y_{\text{max},0}$ в миллиметрах определяется выражением [1]

$$\Delta y_{\text{max},0} = w \cdot n - \left(1 + \frac{n}{2l}\right) \cdot \frac{w \cdot l_T}{2}, \quad (17)$$

где w - перелом профиля в промилле (‰), а значения n , $2l$ и l_T берутся в метрах.

Построение САПР. Последовательность проектирования автосцепного оборудования

Подбор автосцепного оборудования является классической задачей морфологического анализа (Ф. Цвикки, 1942 г.) [14]. Собственно проектирование является решением некоторого множества подзадач. Исходными для проектирования (для определения тех подзадач, которые будут решаться при проектировании автосцепного устройства конкретного экипажа) являются комбинации значений некоторых переменных ($T_{\text{ваг}}$, D_U , U и др.), согласованные с конструктором в процессе диалога. Последовательность согласовываемых вопросов приведена ниже.

1) На вопрос: «Тип вагона?» предполагается ответ: «грузовой» или «пассажирский» (по условиям нерасцепляемости и автоматической сцепляемости изотермический, почтовый и багажный вагоны обычно относят к пассажирским). Сказанное соответствует выражению $T_{\text{ваг}} \in \{ \text{«грузовой»}; \text{«пассажирский»} \}$, где $T_{\text{ваг}}$ - идентификатор типа вагона.

2) Если конструктор настаивает на особых условиях нерасцепляемости проектируемого вагона, то принимается $D_U = 2$. Если на особых условиях нерасцепляемости конструктор не настаивает, то при проектировании пассажирского вагона принимается $D_U = 1$, а при проектировании грузового вагона D_U - входной параметр, соответствующий ответу на вопрос: можно ли в автоматическом режиме подбирать группу проектируемого вагона по условиям

сцепляемости/нерасцепляемости ($D_U = 0$, если можно, $D_U = 1$, если группа задается конструктором). Сказанное соответствует выражению

$$D_U \in \begin{cases} \{0; 1; 2\} \Leftarrow T_{\text{ваг}} = \text{«грузовой»}, \\ \{1; 2\} \Leftarrow T_{\text{ваг}} = \text{«пассажирский»}. \end{cases}$$

3) Если $D_U = 1$, для грузового вагона необходимо задать группу ($U = 1$ или $U = 2$). При проектировании пассажирского вагона и $D_U = 1$ принимается $U = 3$. При $D_U = 2$ принимается $U = 666$. При $D_U = 0$ группа определится в результате работы подсистемы (можно принять исходным значение $U = 1$). Сказанное соответствует выражению

$$U \in \begin{cases} 1 \Leftarrow D_U = 0, \\ \{1; 2\} \Leftarrow (D_U = 1) \wedge (T_{\text{ваг}} = \text{«грузовой»}), \\ 3 \Leftarrow (D_U = 1) \wedge (T_{\text{ваг}} = \text{«пассажирский»}), \\ 666 \Leftarrow D_U = 2. \end{cases}$$

4) Если задано $D_U = 2$, необходимо ввести значения величин $R_1 \dots R_3$ (по согласованию с конструктором какие-то из этих радиусов могут быть приняты согласно табл. 1).

5) Вопрос о наличии центрирующего устройства при $U = 2$ и $U = 3$ не задается (при этом принимается $D_{\text{ц}} = 0$). При $U = 1$ и при $U = 666$ принимается $D_{\text{ц}} = 1$, если предполагается проектирование центрирующего устройства. Сказанное соответствует выражению

$$D_{\text{ц}} \in \begin{cases} 0 \Leftarrow (U = 2) \vee (U = 3), \\ \{0; 1\} \Leftarrow (U = 1) \vee (U = 666). \end{cases}$$

6) На вопрос об автоматической сцепляемости проектируемого вагона может быть два ответа: $D_{\text{ж}} = 0$, если автоматическая сцепляемость должна проектироваться, и $D_{\text{ж}} = 1$, если допускается автоматическую сцепляемость не проектировать. Сказанное соответствует выражению $D_{\text{ж}} \in \{0; 1\}$.

7) Конструктор должен определиться с требованиями к пропуску проектируемого вагона через горки. Требованию “через горки не пропускать” соответствует $D_{\Gamma}=0$; если пропуск проектируемого вагона через горб горки с параметрами $\Pi_{\Gamma}=55\%$, $R_{\Gamma}=250$ м допускается, принимается $D_{\Gamma}=1$; если вагон проектируется для пропуска через горки с $\Pi_{\Gamma}>55\%$ и/или $R_{\Gamma}<250$ м, принимается $D_{\Gamma}=2$ (но описываемая подсистема для проектирования таких вагонов не приспособлена!). Сказанное соответствует выражению $D_{\Gamma} \in \{0; 1; 2\}$. Добавим к сказанному, что пассажирские вагоны обычно проектируются с требованием «через горки не пропускать».

8) Опыт показывает, что конструктор воспринимает требования к пропуску проектируемого вагона через горки и требования к пропуску проектируемого вагона через аппарели паромов как совершенно различные. Запрет пропуска проектируемого вагона через аппарели паромов соответствует $D_A=0$; если пропуск проектируемого вагона через аппарели с параметрами $\Pi_A=55\%$, $R_A=250$ м допускается, принимается $D_A=1$; если вагон проектируется для пропуска через аппаратные съезды с длиной моста, большей длины вагона по осям сцепления, принимается $D_A=3$; допустимость пропуска проектируемого вагона через аппаратные съезды с $\Pi_A>55\%$ и/или $R_A<250$ м соответствует $D_A=2$ (но описываемая подсистема для проектирования таких вагонов не приспособлена!). Сказанное соответствует выражению $D_A \in \{0; 1; 2; 3\}$.

9) Осноть тележки (n_T), база ($2\ell_{\text{тел}}$) двух- или трехосной тележки (и базы межтележечных связей $\forall 2\ell_{T,M,i}$ для сочлененных двухосных тележек), тип подвешивания ($L \in \{0; 1\}$), тип подшипника ($Ш \in \{“с”; “к”\}$), база проектируемого вагона (2ℓ), длина консоли проектируемого вагона (n_B) по лобовому брусу для платформ (по торцовой стенке для крытых вагонов), «нависание пола вагона над автосцепкой» (Δ_B) являются исходными данными для работы описываемой подсистемы. При этом длина консоли от центра пятника до оси сцепления n и n_B связаны отношением $n = n_B + V_A - \Delta_B$, а длина консоли от центра

пятника до шарнира хвостовика автосцепки определяется выражением $n_a = n - a$.

10) Перед началом проектирования необходимо согласовать с конструктором допустимые для проектируемого вагона множество типов автосцепок $T_A^{(C)}$ и множество типов розеток $T_P^{(C)}$.

При условии $D = true$ выходными данными подсистемы будут:

- группа U проектируемого грузового вагона по условиям нерасцепляемости (если группа подбиралась при работе подсистемы),

- тип автосцепки T_A и тип розетки T_P (если они подбирались при работе подсистемы),

- наибольший возможный угол поворота тележки относительно кузова Ψ ,

- условие D_Z : если допускается ($D_{\text{ж}} = 1$) не обеспечивать автоматическую сцепляемость вагонов на сопряжении прямой и круговой кривой радиусом R_4 , а условие автоматической сцепляемости не выполнено ($\mathfrak{Z}_{\text{сц}} = false$), то согласно требований Норм [1] автосцепка должна быть оборудована устройством для принудительного отклонения автосцепки к центру кривой,

- поперечное отклонение X головки автосцепки (центра зацепления) на участке сопряжения прямой и круговой кривой радиусом $R_5=90$ м, которое обеспечивается усилием сцепщика 250 Н (для грузовых вагонов группы I с центрирующим устройством автосцепки).

Если условие $D = true$ окажется не выполненным, спроектировать требуемый вагон не возможно.

Выводы

1. Проектирование автосцепного оборудования железнодорожных вагонов – задача многокритериальной оптимизации, решаемая перебором на очень небольшом количестве комбинаций варьируемых параметров. Решение задачи не обязательно существует и не обязательно задача имеет только одно решение.

2. При проектировании каждого нового вагона количество исходных данных и зависящее от исходных данных количество ограничений задачи оптимизации определяются в процессе диалога с конструктором. Таким образом, диалог (интерфейс) является неотъемлемой частью САПР железнодорожных вагонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. - М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. - 319 с.
2. Разработка алгоритмов и программного обеспечения подсистемы проектировочных расчетов в САПР конструирования вагонов [Текст]: отчет о НИР, № госрегистрации 01870097057. - Д.: ДИИТ, 1988. - 11 с.
3. САПР "грузовой вагон" на первых этапах проектирования. Организация управляющей подсистемы [Текст] / А. В. Рыжов и др. // Проблемы механики железнодорожного транспорта. Повышение надежности и совершенствование конструкций подвижного состава. Тезисы докл. Всесоюзн. конф. - Д., 1984. - С.44-45.
4. Построение современных систем автоматизированного проектирования [Текст] / К. Д. Жук и др. - К.: Наук. думка, 1983. - 246 с.
5. Дитрих, Я. Проектирование и конструирование. Системный подход [Текст] / Я. Дитрих. - М.: Мир, 1981. - 456 с.
6. Биргер, А. Г. Учет человеческих факторов при проектировании интерактивных систем [Текст] / А. Г. Биргер // Экспресс-информация. Вычислительная техника. - 1984. - № 15. - С. 10-13.
7. Коломийченко, В. В. Автосцепное устройство подвижного состава [Текст] / В. В. Коломийченко, Н. Г. Беспалов, Н. А. Семин. - М.: Транспорт, 1980. - 185 с.
8. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР [Текст]. - М.: Транспорт, 1989. - 176 с.
9. Вагоны. Конструкция, теория, расчет [Текст] / под ред. Л. А. Шадура. - М.: Транспорт, 1980. - 440 с.
10. Вагоны [Текст] / под ред. А. Д. Кузьмича. - М.: Машиностроение, 1978. - 376 с.
11. Скиба, И. Ф. Вагоны [Текст] / И. Ф. Скиба. - М.: Транспорт, 1979. - 304 с.
12. ГОСТ 9036-88. Колеса цельнокатаные. Конструкция и размеры [Текст].
13. Інструкція з формування, ремонту та утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колії 1520 мм [Текст]. ВНД 32.0.07.001-2001. - 151 с.
14. Алгоритмы научных решений на железнодорожном транспорте [Текст]: монография / И. Г. Морчиладзе и др. - М.: ИБС-Холдинг, 2007. - 298 с.

Поступила в редколлегию 07.09.2009